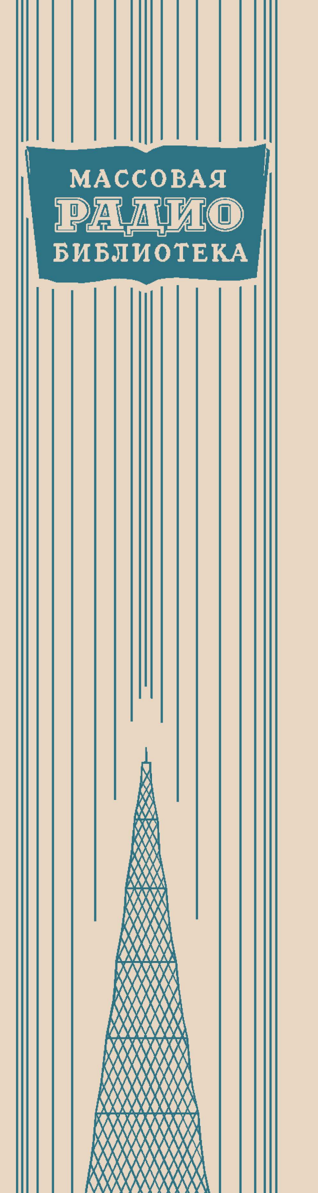
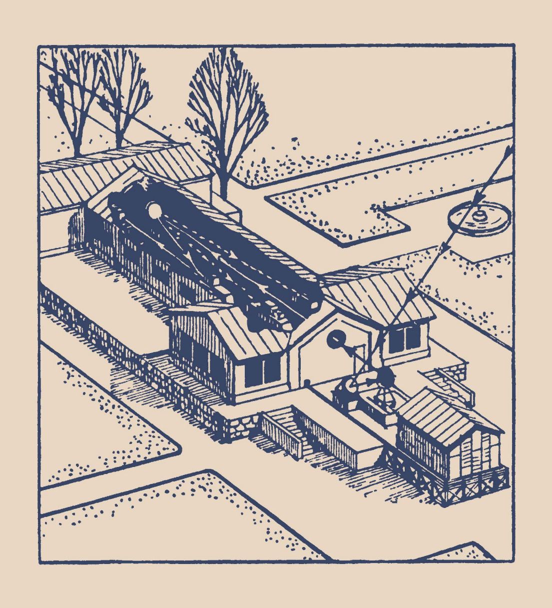


Н. Ф. КУПРЕВИЧ

ТЕЛЕВИЗИОННАЯ ТЕХНИКА В АСТРОНОМИИ





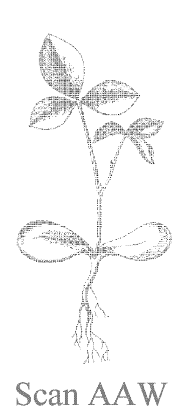
ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

Выпуск 313

Н. Ф. КУПРЕВИЧ

ТЕЛЕВИЗИОННАЯ ТЕХНИКА В АСТРОНОМИИ





ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

МОСКВА 1958 ЛЕНИНГРАД

В брошюре рассматриваются возможности использования телевизионной аппаратуры для астрономических наблюдений. Брошюра рассчитана на радиолюбителей, интересующихся вопросами различного применения радиоэлектроники.

СОДЕРЖАНИЕ

Купревич Николай Федорович

ТЕЛЕВИЗИОННАЯ ТЕХНИКА В АСТРОНОМИИ

Редактор *Ф. И. Тарасов* Техн. редактор *Н. И. Борунов*

Сдано в набор 16/VI 1958 г. Подписано к печати 20/XI 1958 г.
Т-11547. Бумага 84×108 1/32. 2 печ. л. Уч.-изд. л. 2,25
Тираж 30 500 экз Цена 90 коп. Заказ 1347

Типография Госэнергоиздата. Москва, Шлюзовая наб., 10.

КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ИСТОРИИ РАЗВИТИЯ АСТРОНОМИЧЕСКИХ ИНСТРУМЕНТОВ

Астрономия — наука о небесных телах и Вселенной. Используя достижения математики, физики и техники, она изучает окружающую нас безграничную Вселенную, в состав которой входит наша планета — Земля. Эта наука зародилась в далекой древности из практических потребностей человека.

История развития астрономического познания тесно связана с историей прогресса наблюдательных астрономических инструментов и методов наблюдения. Вначале, до изобретения астрономического телескопа, все наблюдения производились невооруженным глазом. В этих условиях опытный наблюдатель мог различить и сосчитать на небе до 3 500 достаточно ярких звезд.

Изобретение и применение в 1610 г. итальянским ученым Галилео Галилеем телескопа увеличило число доступных наблюдению звезд, позволило открыть лунный ландшафт, пятна на Солнце, спутники планеты Юпитер и т. п. Телескоп Галилея состоял из бумажной трубы длиной 102,5 *см* с объективом диаметром 6,2 *см.*

Развитие астрономического приборостроения шло по пути увеличения как диаметра объектива, так и его фокусного расстояния, а следовательно, и размеров всего прибора.

Широкое развитие получили отражательные телескопы, в которых используется вогнутое зеркало. В 1783 г. Гершель построил отражательный телескоп длиной 6,1 *м* с зеркалом диаметром 45 *см.* Спустя 6 лет он создал телескоп, имевший длину 12,2 *м* с зеркалом диаметром 122 *см.* Следующий крупный телескоп был построен в 1845 г. ирландским астрономом-любителем Россом. Телескоп имел длину 18,3 *м* и диаметр зеркала 183 *см*. Этот телескоп строился 22 года и представлял собой величайший по тому времени астрономический инструмент.

С 1876 г. в астрономии начала применяться фотография. Фотопластинка имеет ряд существенных преимуществ перед человеческим глазом. Она может быть сделана чувствительной не только к видимым, но и к ультрафиолетовым и инфракрасным лучам, на которые глаз не реагирует. Путем длительного экспонирования фотопластинка может накапливать световую энергию и дает возможность обнаруживать слабо светящиеся небесные тела, которые глазом нельзя заметить даже в телескоп.

Чем дальше находится от нас небесный объект, тем меньше света доходит от него к наблюдателю, поэтому астрономы стремятся увеличить диаметр зеркала, площадью которого определяется проницающая сила телескопа, т. е. способность обнаруживать отдаленные и слабо видимые небесные тела.

В конце 1947 г. в США была закончена постройка паламарского телескопа с диаметром зеркала 5 *м*. Постройка продолжалась 20 лет и обошлась в 10 млн. долл. Этот телескоп по своим размерам и технической оснащенности является пока самым крупным в мире. Некоторое представление о его размерах могут дать следующие цифры: зеркало весит 14,5 *т*, труба — 150 *т*, поворотное устройство — около 500 *т*. При помощи этого телескопа можно обнаружить небесные объекты, удаленные от нас на расстояния свыше 500 млн. световых лет (световой год — расстояние, которое пробегает луч света в течение года при скорости 300 000 *км/сек*).

Чтобы сделать возможным наблюдение еще более отдаленных объектов, требуется дальнейшее увеличение размеров телескопа, что при современном уровне техники связано с большими практическими трудностями.

Существуют ли в настоящее время реальные возможности увеличить проницающую силу современных телескопов без увеличения их размеров? Оказывается, такие возможности есть. Для этого надо использовать более чувствительные приемники света, чем фотопластинка. Одним из таких светочувствительных приемников света является фотокатод фотоэлемента.

ФОТОЭЛЕМЕНТ КАК СВЕТОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЙ ПРИЕМНИК СВЕТА

Существуют различные типы фотоэлементов: фотоэлементы с внешним фотоэффектом, с запирающим слоем и фотосопротивления. Все они широко применяются в нау-

ке и технике. Выбор того или иного типа определяется задачами и требованиями, предъявляемыми к светоприемнику при измерении лучистой энергии. В астрономии наибольшее распространение получили фотоэлементы, основанные на внешнем фотоэффекте.

Фотоэлемент предназначен для преобразования световой энергии в электрическую. Освещенность в различных точках на фотокатоде фотоэлемента может быть различной. В светлых местах изображения электронов образуется больше, а в темных — меньше. Все эти электроны попадают на анод и образуют некоторый суммарный фототок. Таким образом, фотоэлемент не сможет заменить фотопластинку для фиксирования изображения после телескопа.

Заменить фотопластинку может электронно-оптический преобразователь света (или, как его иначе называют, электронно-оптический преобразователь изображения) или телевизионная передающая трубка. В обоих случаях в качестве приемника излучения служит тоже фотокатод. Под действием света на поверхности металла или полупроводника создается электронное изображение. При помощи электрических и магнитных полей можно управлять электронным потоком и преобразовать его вновь в оптическое изображение.

Важной характеристикой фотокатода является его спектральная характеристика, т. е. зависимость фототока от длины волны света (цвета), падающего на фотокатод. Спектральная характеристика указывает границы цветочувствительности данного фотокатода, а также длины световых волн, при которых он становится уже вообще нечувствительным к свету (длинноволновая и коротковолновая границы чувствительности).

На практике применяются следующие типы фотокатодов: 1) сурьмяно-цезиевый, имеющий максимальную чувствительность в синих лучах; 2) кислородно-цезиевый, который имеет два максимума чувствительности — в синих и инфракрасных лучах (при работе на втором максимуме спектральной чувствительности этот фотокатод дает возможность обнаруживать инфракрасные лучи, которых глаз не видит), и 3) кислородно-висмутово-цезиевый с максимальной чувствительностью в зеленых лучах, подобной спектральной чувствительности человеческого глаза. Спектральные характеристики для различных полупрозрачных фотокатодов приведены на рис. 1.

Другой важной характеристикой фотокатода является его квантовый выход, под которым понимают число электронов, излучаемых фотокатодом под действием 1 кванта света, падающего на его поверхность. Квантовый выход будет равен 100%, если каждый квант света вызовет излучение одного электрона. Однако все существующие фотокатоды с внешним фотоэффектом имеют выход значитель-

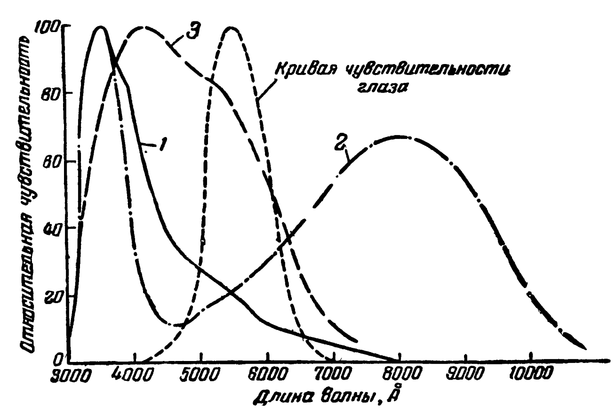


Рис. 1. Спектральные характеристики полупрозрачных фотокатодов.

1 — сурьмяно-цезиевый; *2* — кислородно-цезиевый; *3* — кислородно-висмутово-цезиевый.

но меньше 100%. Квантовый выход различен для разных материалов и длин волн света. Наибольшим выходом обладает сурьмяно-цезиевый фотокатод, величина которого доходит в максимуме чувствительности до 30% теоретического. Кислородно-цезиевый фотокатод обладает значительно меньшим выходом (около 0,3—1%).

Чтобы сравнить чувствительность фотокатода и фотопластинки как приемников света, необходимо иметь общие для них качественные показатели. Таким общим показателем является эквивалентный квантовый выход. Для чувствительной фотографической эмульсии необходимо 1 000 квантов, чтобы получить одно зерно металлического серебра, которое выявляется при проявлении фотопластинки. Поэтому квантовый выход фотопластинки составляет около 0,1%. Если считать в среднем квантовый выход фотокатода равным 10%, то чувствительность его окажется в 100 раз большей, чем чувствительность фотопластинки. Это значит, что эффективность телескопа с фотокатодом

в качестве приемника света станет значительно большей. Так, например, телескоп с зеркалом 5 *м*, снабженным фотоэлементом, эквивалентен телескопу с зеркалом 50 *м*, имеющим фотопластинку.

ЭЛЕКТРОННО-ОПТИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ СВЕТА

Электронно-оптический преобразователь света состоит из полупрозрачного фотокатода и флуоресцирующего экрана, на котором поддерживается относительно высокий положительный потенциал по отношению к фотокатоду. Если на фотокатод проектируется световое изображение, то на экране воспроизводится такое же изображение, создаваемое фотоэлектронами, летящими от фотокатода и бомбардирующими экран. Электронно-оптические преобразователи с высокоэффективными экранами-люминофорами, работающие с высокими напряжениями (порядка десяти тысяч вольт), являются усилителями света.

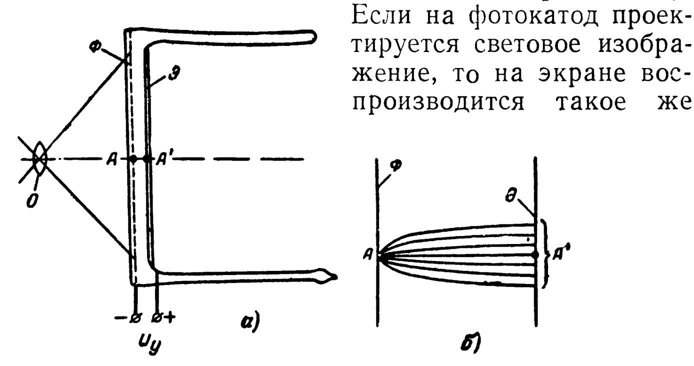


Рис. 2. Электронно-оптический преобразователь света Холста.
О — объектив; *Ф* — фотокатод; *Э* — экран; U_y — ускоряющее напряжение.

Простейший тип преобразователя, известный в литературе под названием стакана (или преобразователя) Холста, впервые построившего такой прибор в 1934 г., показан на рис. 2,*а*. Преобразователь состоит из стеклянного цилиндра-трубки с плоскими стенками, из которого выкачан воздух. На внутренней стороне одной из стенок нанесен полупрозрачный фотокатод *Ф*. На противоположной стенке трубки на расстоянии около 20 *мм* от фотокатода находится флуоресцирующий экран *Э*. Между ним и фотокатодом приложено ускоряющее напряжение $U_y = 3 \div 4$ *кв*.

Под действием света оптического изображения, проектируемого на фотокатод, последний излучает электроны. В светлых местах изображения их излучается больше, в темных же — меньше. Это электронное изображение с большой скоростью переносится на экран, ударяется об него. Часть энергии удара электронов преобразуется в тепловую энергию, а часть — в световую. На экране появляется видимое изображение, подобное первичному (оптическому), проектируемому на фотокатод преобразователя.

Иногда фотокатод преобразователя делают чувствительным к инфракрасным лучам. Тогда с таким преобразователем можно видеть изображения предметов, освещенных инфракрасными лучами, или небесные объекты, излучающие эти лучи в большем количестве по сравнению с видимыми лучами. Иначе говоря, в этом случае можно видеть изображения, которые невооруженным глазом увидеть нельзя.

Изображение на экране преобразователя Холста получается недостаточно четким. Это объясняется рассеянием электронов при переносе электронного изображения от фотокатода к экрану, что неизбежно из-за отсутствия фокусировки электронов. На рис. 2,*б* схематически показано, как из-за отсутствия фокусировки точка изображения *A* на фотокатоде превращается в размытое пятно *A'* на экране преобразователя. Увеличение ускоряющего напряжения повышает четкость и яркость, но при этом свет от экрана сильно засвечивает фотокатод — появляется светлый фон. По мере увеличения напряжения яркость фона настолько возрастает, что изображение становится мало контрастным и затем пропадает. По этой причине преобразователь Холста работает обычно при сравнительно низких напряжениях, не превышающих 3 *кв*, и дает изображения с малой четкостью и яркостью.

Дальнейшее развитие конструкции электронно-оптических преобразователей пошло по пути увеличения ускоряющего напряжения и улучшения фокусировки электронного изображения. В современных конструкциях преобразователей ускоряющее напряжение обычно не превышает 17—20 *кв* (дальнейшее увеличение напряжения сравнительно мало увеличивает яркость изображения, но увеличивает опасность пробоя изоляции внутри трубки). Оказалось полезным покрывать экран тонкой пленкой алюминия (толщиной 0,08 *мм*). Это повышает яркость свечения

экрана в 2 раза, полностью уничтожает фон и увеличивает контрастность изображения.

Схема современной конструкции преобразователя с электростатической фокусировкой показана на рис. 3. В ней оптическое изображение на фотокатоде *Ф* больше получаемого на экране *Э*. Таким образом, при фокусировке электронное изображение как бы уплотняется, что дополнительно повышает яркость изображения на экране преобразователя.

Электростатическая фокусировка вносит некоторые искажения в изображение. Для их компенсации поверхность фотокатода делается сферической. Для фокусировки электронного изображения внутри преобразователя имеются дополнительные электроды сложной формы (электронные линзы *Л*). На них подается фокусирующее напряжение $U_ф \approx$ ≈ 5 *кв*. Экран преобразователя алюминирован.

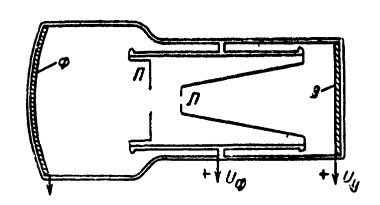


Рис. 3. Электронно-оптический преобразователь света с электростатической фокусировкой. *Ф*—фотокатод; *Л*—электронные линзы; *Э* — экран; $U_ф$ — фокусирующее напряжение; U_y —ускоряющее напряжение.

Такой преобразователь может дать усиление яркости в 30—40 раз, если ускоряющее напряжение $U_y = 20$ *кв* и используется сурьмяно-цезиевый фотокатод. С кислородно-цезиевым фотокатодом преобразователь дает меньшее усиление яркости (около 10 раз).

Преобразователь может дать значительно большее усиление яркости, если масштаб увеличения взять меньшим единицы. В этом случае изображение на экране меньше первичного, проектируемого на фотокатод. Так, при масштабе увеличения 10 : 1, плотность электронного изображения увеличивается в 100 раз. При переносе электронного изображения выигрыш в яркости достигает 10—20. Таким образом, общее усиление яркости увеличивается до 1 000—2 000. Такой прибор удобен для визуальных наблюдений (с помощью окуляра).

Приведенные цифры усиления яркости относятся к случаю помещения фотопластинки (при фотографировании изображения) вплотную к задней стенке колбы, где нанесен экран. Однако толщина стенки колбы бывает не менее 2—3 *мм*, и это вызывает размывание изображения на фотоснимке.

Для получения четкого фотографического снимка приходится применять оптику, что снижает реальное усиление. Так, если используется объектив с относительным отверстием 1 : 1, то на фотопластинку попадает только 8% всего светового потока, даваемого экраном преобразователя. В зависимости от материала экрана свечение его может быть зеленым, голубым или фиолетовым. Зеленое свечение используют при визуальных наблюдениях, так как глаз наиболее чувствителен в этой области спектра. При фотографировании же пользуются голубым или фиолетовым свечением (в этой области спектра фотопластинка обычно наиболее чувствительна). В этом случае реальное усиление яркости после преобразователя достигает 7.

Можно значительно увеличить эффективность преобразователя, если экран в нем заменить фотопластинкой. В этом случае электроны, летящие с большой скоростью от фотокатода, будут бомбардировать фотоэмульсию и вызывать в ней фотографический эффект, подобный действию света. Такой метод дает возможность значительно уменьшить время выдержки фотопластинки (примерно в 50—100 раз, что эквивалентно усилению яркости в такое же число раз). Он был предложен французским астрономом Лалемандом в 1936 г. как средство для уменьшения выдержки при фотографировании небесных объектов. Однако этот метод имеет крупный недостаток, заключающийся в ограниченности числа фотоснимков. В таком преобразователе фотопластинка находится в запаянном стеклянном сосуде вместе с фотокатодом. Для извлечения фотопластинки сосуд приходится разбивать, и преобразователь гибнет.

Дальнейшее усовершенствование этого метода позволило использовать несколько фотопластинок, смонтированных во вращающейся кассете. Число пластинок было доведено до 12. Кассета поворачивалась внешним электромагнитом. Это дало возможность получать уже 12 фотографий, после чего преобразователь все же приходилось разбивать (при извлечении фотопластинок для их проявления).

Последняя конструкция такого прибора, используемого для астрономических целей, значительно усовершенствована. Она позволяет вставлять и вынимать фотопластинки без разрушения стеклянного баллона. Схема такого преобразователя показана на рис. 4.

Преобразователь состоит из трех секций. Первая из них — камера с высоким вакуумом. В ней, как обычно,

помещен фотокатод *Ф*. Вместо фотопластинки поставлена тонкая металлическая пленка *М* (толщиной в несколько микрон), сохраняющая вакуум в секции и в то же время пропускающая электроны от фотокатода к фотопластинке *П*, установленной за этой пленкой. Между пленкой и фотокатодом приложено ускоряющее напряжение, порядка 30 *кв*. Это обеспечивает большую скорость движения электронам, вследствие чего они легко проходят через металлическую пленку и бомбардируют фотоэмульсию.

Вторая и третья секции имеют промежуточный вакуум. Они сообщаются между собой и с наружным воздухом через плотно закрывающиеся окна *О*. Фотопластинка вначале вставляется в третью секцию, наружное окно ее плотно закрывается, и из этой секции выкачивается воздух.

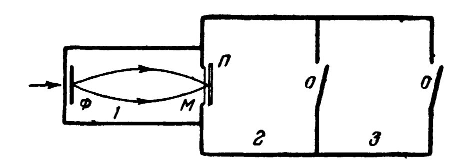


Рис. 4. Электронно-оптический преобразователь света с промежуточным вакуумом.

Ф — фотокатод; *М* — металлическая пленка; *П* — фотопластинка; *О* — окна; *1* — *3* — секции преобразователя.

При достижении одинакового вакуума во второй и третьей секциях окно открывается, фотопластинка вводится во вторую секцию и прижимается к металлической пленке. После фотографирования фотопластинка переносится в обратном порядке в третью секцию, а затем вынимается из прибора. Все эти операции производятся при помощи внешнего электромагнита.

Процесс переноса фотопластинки из преобразователя требует каждый раз откачки воздуха из третьей секции. Однако все трудности окупаются высоким качеством получаемого изображения на фотопластинке.

Другой способ увеличения яркости заключается в использовании нескольких преобразователей, соединенных каскадно. В этом случае изображение с экрана первого преобразователя проектируется светосильным объективом на фотокатод второго, а изображение с экрана вто-

рого преобразователя фотографируется на фотопластинку. Такая схема соединения преобразователей теоретически может дать усиление до 50 раз, но реальное усиление обычно не превышает 10—12. Кроме того, из-за большого числа линз в объективах, а также зернистости структуры экранов увеличивается рассеянный свет и снижается четкость изображения.

Значительно большее усиление можно получить, если применить два преобразователя без промежуточной оптики. Для этой цели делают общую тонкую стеклянную пластинку, на одну из сторон которой наносят материал экрана первого преобразователя, а на другую сторону — полупрозрачный фотокатод второго преобразователя. Чтобы не было ухудшения в четкости изображения, толщина общей пластинки не должна превышать 0,1 *мм*. Для питания такого блока требуется напряжение 30—35 *кв*. При этом достигается усиление яркости на фотопластинке около 100—140.

Существуют также конструкции преобразователя с магнитной фокусировкой. В такой системе преобразователь помещают обычно в длинную цилиндрическую катушку с большим числом витков провода, по которому проходит электрический ток. Величина тока подбирается опытным путем в соответствии с наилучшей четкостью изображения на экране преобразователя.

Преобразователи с магнитной фокусировкой дают более четкие изображения, чем с электростатической. Особенно это заметно в многокаскадных преобразователях, где искажения отдельных каскадов суммируются.

Для получения очень больших усилений яркости число каскадов, казалось бы, можно увеличить неограниченно. Однако этому препятствуют собственные помехи в преобразователе (помехи от термоэлектронной эмиссии фотокатода). Так, в многокаскадном преобразователе с сурьмяно-цезиевым фотокатодом при усилении 100 000 эти помехи проявляются как светлый фон, который образуется из большого числа светящихся точек, беспорядочно перемещающихся по всей площади экрана (каждая светящаяся точка — результат удара одного или нескольких электронов об экран). Следовательно, коэффициент усиления 100 000 является предельным. При таком усилении едва можно различить изображение, если яркость его на фотокатоде будет не ниже 10^{-6} *лк*. Удовлетворительное изображение получается при преобладании сигнала над помехой

в 10 раз. Для этого случая освещенность входного изображения должна быть 10^{-5} *лк,* а усиление—10 000. Приведенные цифры и следует считать величинами, определяющими чувствительность преобразователя.

Интервал освещенностей изображений, с которыми приходится иметь дело астроному, очень велик. Так, например, звезда первой величины дает освещенность на зрачке глаза $8{,}3 \cdot 10^{-7}$ *лк.* Разница на одну звездную величину соответствует изменению освещенности в 2,512 раза, в пять звездных величин — 100-кратному изменению освещенности. Светила, более яркие, чем звезда первой величины, обозначаются отрицательными, а более слабые — положительными звездными величинами. Табл. 1 дает представление об освещенностях на поверхности земли, создаваемых различными небесными телами.

Освещенности изображений на фотопластинке зависят от яркости самих небесных объектов, их угловых размеров,

Таблица 1

Небесное тело	Звездная величина, *m*	Создаваемая освещенность на поверхности Земли, *лк*	Примечание
Солнце	—26,7	100 000	—
Луна (полнолуние)	—12,6	0,24	Соответствует освещенности, создаваемой свечой на расстоянии 2,8 *м*
Звезда	1	$8{,}3 \cdot 10^{-7}$	То же на расстоянии 1,1 *км*
Звезда (граница видимости невооруженным глазом)	6	$8{,}3 \cdot 10^{-9}$	То же на расстоянии 11 *км*
Звезда (граница обнаружения при помощи длительного фотографирования в мощные телескопы)	21	$8 \cdot 10^{-15}$	То же на расстоянии 1 100 *км*

диаметра входного отверстия телескопа и его фокусного расстояния. В табл. 2 приведены размеры изображений некоторых небесных тел и их освещенности после телескопа (при диаметре отверстия телескопа 500 *мм* и фокусном расстоянии 20 *м*).

Таблица 2

Небесное тело	Максимальные угловые размеры, секунды дуги	Максимальная освещенность на поверхности Земли, *лк*	Диаметр изображения после телескопа, *мм*	Освещенность изображения на фотопластинке, *лк*
Луна	1 800	0,24	181	0,57
Венера	64	$8\cdot10^{-4}$	6,2	2,6
Юпитер	50	$1,5\cdot10^{-5}$	4,8	0,075
Звезда 21-й величины	—	$8\cdot10^{-15}$	0,06	$1,4\cdot10^{-8}$

ТЕЛЕВИЗИОННАЯ АППАРАТУРА КАК СРЕДСТВО ДЛЯ УСИЛЕНИЯ ЯРКОСТИ И ЧЕТКОСТИ ИЗОБРАЖЕНИЯ

Телевизионная техника в астрономии может быть использована для двух целей: 1) увеличения яркости изображения после телескопа и 2) компенсации смещений изображения (дрожания изображения), вызываемых атмосферными помехами.

В первом случае телевизионную систему можно рассматривать в принципе как электронно-оптический усилитель света с разнесенными фотокатодом и экраном. Передача изображения в телевизионной системе производится последовательно по времени от точки к точке. Развертка изображения в горизонтальном направлении производится по строкам, а в вертикальном — по кадрам. В некоторых случаях можно применить круговую развертку изображения — по спирали. Такая развертка упрощает аппаратуру, но яркость изображения получается неравномерной (в центре экрана она больше).

По сравнению с обычным электронно-оптическим преобразователем света телевизионная система как усилитель света имеет следующие преимущества: 1) изображение от телескопа может передаваться на достаточно большое расстояние, что в некоторых случаях удобно при наблюдениях; 2) на экране телевизора можно получить увеличенное изображение (во много раз большее, чем размер оптического изображения на фотокатоде передаю-

щей трубки); 3) можно плавно регулировать масштаб, контрастность и яркость изображения при одинаковом времени выдержки во время фотографирования с экрана телевизора; 4) в некоторых случаях можно «накапливать» изображение на мишени передающей трубки.

К недостаткам телевизионного метода усиления яркости следует отнести: 1) значительную сложность оборудования (по сравнению с электронно-оптическим преобразователем света); 2) меньшую световую чувствительность при применении обычных телевизионных трубок, используемых для телевизионных передач; исключение составляет телевизионное оборудование с применением очень чувствительных передающих трубок, построенных специально для слабых освещенностей (в заграничной практике такие трубки успешно применялись для астрономических наблюдений); 3) ограниченность в уменьшении времени выдержки при фотографировании изображения с экрана телевизора; в этом случае минимальная выдержка определяется не только яркостью изображения на экране, но и продолжительностью передачи телевизионного кадра; при кадровой развертке изображения за $^1/_{50}$ *сек* выдержка при фотографировании не может быть сделана короче этого времени; например при выдержке $^1/_{100}$ *сек* на фотографии зафиксируется только часть изображения (все это относится к обычным кинескопам, имеющим малое остаточное свечение экрана — не свыше $^1/_{25}$ *сек*).

ПЕРЕДАЮЩИЕ ТЕЛЕВИЗИОННЫЕ ТРУБКИ

В телевизионной практике используются передающие трубки различных типов. Широкое распространение получили: 1) иконоскоп; 2) иконоскоп с переносом изображения (супериконоскоп); 3) видикон (трубка с фотосопротивлением и 4) ортикон с переносом изображения (суперортикон). Рассмотрим кратко устройство и возможности применения этих типов трубок в астрономии.

В передающих трубках используется принцип накопления заряда. Электронное изображение в них, образованное фотокатодом, переносится на мишень, которая может быть изолятором или полупроводником. На мишени накапливаются электрические заряды, величина и форма которых определяются характером передаваемого изображения.

Четкость изображения, как известно, зависит от числа его элементов (наименьших по размерам деталей, которые

можно различить на экране кинескопа). Для телевизионного стандарта разложения на 625 строк число элементов изображения достигает 521 000. На каждом элементе изображения заряды накапливаются медленно, в продолжение передачи всего кадра (в нашем случае $^1/_{25}$ *сек*). Во время развертки при движении электронного луча вдоль мишени каждый элемент разряжается быстро, в течение времени передачи одного элемента (около $1{,}3 \cdot 10^{-7}$ *сек*). Таким образом, электронный луч снимает заряды с той части мишени, по которой он проходит. Остальная же часть мишени все время накапливает заряды. Поэтому процесс накапливания зарядов обеспечивает получение большого сигнала при сравнительно небольшой яркости оптического изображения на фотокатоде трубки.

Первая телевизионная трубка, в которой использовано накопление заряда, была построена в 1932 г. и названа иконоскопом. Эффективность его довольно низка и составляет около 5% по сравнению с теоретической идеальной трубкой, для которой можно было бы считать использование принципа накопления равным 100%. Для нормальной работы иконоскопа необходима освещенность изображения на фотокатоде около 50 *лк*.

Иконоскопы применяются и сейчас в телецентрах для передачи кинофильмов. В этом случае малая чувствительность иконоскопа не является решающей. Что же касается четкости передачи, то иконоскоп пока является наилучшей из всех существующих передающих трубок.

В астрономии иконоскоп может быть использован для передачи ярких изображений в инфракрасных лучах, например при исследовании солнечных пятен и изучении структуры поверхности Солнца в большом масштабе. В 1939 г. в США делались попытки применить его при наблюдениях солнечной короны вне затмения. Для этого использовался внезатменный коронограф, после которого оптическое изображение солнечной короны проектировалось на иконоскоп и рассматривалось на экране кинескопа.

Дальнейшее усовершенствование иконоскопа (добавление секции переноса) привело к созданию супериконоскопа.

Схема устройства супериконоскопа показана на рис. 5. Оптическое изображение проектируется объективом *О* на полупрозрачный фотокатод *Ф*. Электронное изображение после фотокатода ускоряется и переносится на мишень *М*.

Для фокусировки изображения используется магнитное поле короткой фокусирующей катушки *ФК*, которое в этом случае не является однородным и вследствие этого при переносе электронного изображения увеличивается в диаметре приблизительно в 4 раза (размер мишени по диаметру также больше размера фотокатода в 4 раза).

При переносе изображения электроны бомбардируют мишень и выбивают из ее поверхности вторичные электро-

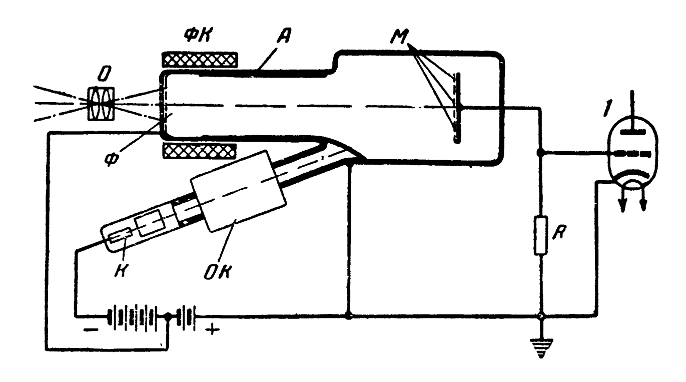


Рис. 5. Схема супериконоскопа.
О — объектив; *Ф* — фотокатод; *ФК* — фокусирующая катушка; *А* — анод; *М* — мозаика; *К* — катод; *ОК* — отклоняющие катушки; *1* — первый каскад видеоусилителя.

ны. На мишени образуются положительные заряды. Яркий участок соответствующего оптического изображения на фотокатоде будет терять больше электронов на мишени, чем темный, и потенциал мишени на этом участке окажется более положительным, чем потенциал темного участка изображения. Таким образом, на мишени образуется потенциальный рельеф.

Глубина потенциального рельефа зависит от коэффициента вторичной эмиссии материала мишени. С увеличением этого коэффициента возрастает глубина рельефа, а вследствие этого и величина сигнала после трубки.

Для изготовления мишени используют тонкую слюдяную пластинку с нанесенным на одной ее стороне слоем креолита, обладающим достаточно большим коэффициентом вторичной эмиссии. Другая ее сторона покрыта металлическим слоем, образующим сигнальную пластинку. Последняя имеет наружный вывод для включения ее в усилительную схему через нагрузочное сопротивление *R*.

Для развертки изображения используется электронный прожектор, расположенный в стеклянной трубке, приваренной к колбе под углом 30°. На трубке размещены фокусирующая катушка (на рисунке не обозначена) для сведения электронов в узкий пучок (диаметром около 0,1 *мм*) и катушки отклонения электронного пучка по строкам и кадрам.

По чувствительности супериконоскоп в 5—7 раз выше иконоскопа. Но для него характерны добавочные искажения, образующиеся при переносе электронного изображения с фотокатода на мишень. Поэтому в супериконоскопах используется только центральная часть фотокатода площадью 1—4 $см^2$.

В 1940 г. в США был построен электронный прибор, названный «телекроскоп». Прибор рассчитан для компенсации смещений ряда звездных изображений, вызываемых атмосферными помехами. Телекроскоп представляет собой супериконоскоп, у которого в центре мишени имеется небольшое отверстие. За отверстием установлена четырехгранная металлическая призма-пирамида. Вокруг пирамиды расположены эмиттеры четырех электронных умножителей. Все это устройство заключено в общий стеклянный баллон супериконоскопа.

На фотокатод такого супериконоскопа проектируется изображение ряда звезд, попадающих в поле зрения телескопа. Любая из звезд может быть спроектирована в отверстие мишени и быть «контрольной» звездой. Электронное изображение этой звезды, проходя через отверстие, попадает на вершину пирамиды. Электроны отражаются от плоскостей пирамиды в четырех направлениях и попадают в четыре электронных умножителя, расположенных в каждой плоскости. Когда электронное изображение контрольной звезды находится в центре отверстия мишени (на вершине пирамиды), электронные потоки на входе умножителей одинаковы. Одинаковы и их выходные токи.

Выходы умножителей соединены с четырьмя катушками, расположенными у фотокатода (в секции переноса изображения) супериконоскопа. Катушки смещают своим магнитным полем электронное изображение по двум взаимно-перпендикулярным направлениям. Таким образом, при равенстве входных электронных потоков в умножителях электронное изображение звезды на мишени находится в ее центре.

Если оптическое изображение на фотокатоде смещает-

ся, то смещается и электронное изображение на пирамиде. При этом нарушается равенство токов в четырех катушках. Подбором надлежащей фазы и величины токов в катушках электронное изображение звезды на мишени можно снова привести к центру.

После подбора рабочего режима усиления в электронных умножителях электронное изображение на мишени становится почти неподвижным. Далее потенциальный рельеф на мишени снимается, образуя обычным порядком телевизионное изображение. Устойчивое изображение звезд рассматривается на экране кинескопа.

Действие описанных выше передающих трубок основано на использовании фотокатода с внешним фотоэффектом. В 1950—1951 гг. появились передающие трубки с фотосопротивлением, часто называемые «видиконами». Эти трубки чрезвычайно просты по конструкции, обладают большим квантовым выходом фотокатода-фотосопротивления (их квантовый выход доходит до 100%, чего пока нельзя получить от фотокатода с внешним фотоэффектом) и могут быть изготовлены для работы в любом участке спектра (как в видимой части спектра, так и в инфракрасной области, более далекой, чем это можно достичь с трубками, использующими внешний эффект фотокатода).

Однако трубки с фотосопротивлением имеют пока еще серьезный недостаток: при малых освещенностях на фотокатоде они обладают излишне большой электрической «памятью» (инерционностью). Этот недостаток сильно сказывается при передаче движущихся изображений. Изображение при этом может быть размазано или иметь «хвосты», сопровождающие некоторые детали изображения. Так, для отечественной трубки с фотосопротивлением типа ЛИ18 инерционность равна 1 *сек*, а в некоторых случаях она доходит до 10 *сек*. Принципиально инерционность можно снизить, однако это вызывает понижение чувствительности трубки.

Размер рабочей части фотосопротивления в трубке, т. е. размер кадра, равен 9×12 *мм*. Однако, несмотря на такой относительно малый размер площади выходного изображения, трубка обеспечивает четкость передачи в центре кадра не ниже 600 строк. Освещенность изображения на фотокатоде при этом не должна быть меньше 5 *лк*.

Трубки с фотосопротивлением нашли широкое применение в промышленном телевидении и приборах для научных исследований. В астрономии эти трубки пока еще

не используются. Однако их спектральные возможности, малые габариты и простота конструкции обеспечат в ближайшее время широкое применение и в астрономической практике. Трубки могут быть использованы в далекой инфракрасной области для изучения спектра ярких звезд, Солнца и его поверхности.

Наиболее чувствительной из всех передающих трубок является суперортикон. Эта трубка применяется для вне-

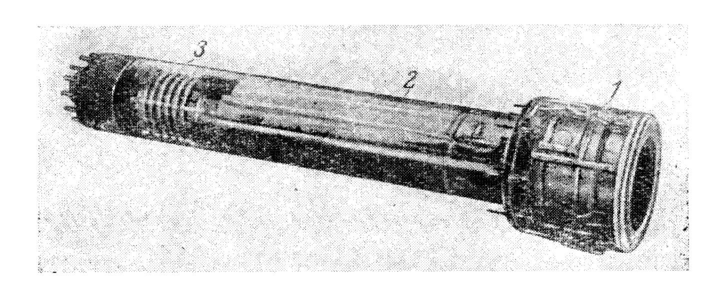


Рис. 6. Внешний вид суперортикона.
1 — секция переноса изображения; 2 — секция развертки изображения; 3 — секция усиления видеосигналов.

студийных телевизионных передач. Чувствительность обычного суперортикона больше чувствительности иконоскопа приблизительно в 500 раз. При небольшом уменьшении четкости в передаваемом изображении этот выигрыш может быть доведен до 1 000 и более раз.

Внешний вид суперортикона показан на рис. 6, а его схематическое устройство — на рис. 7. Конструктивно трубку делят на три части: 1) секцию переноса изображения; 2) секцию развертки изображения и 3) секцию усиления видеосигналов.

Секция переноса состоит из полупрозрачного фотокатода, ускоряющего электрода и мишени, изготовленной из тонкой (5 *мк*) полупроводящей стеклянной пленки и приваренной к металлическому кольцу. Удельное электрическое сопротивление мишени ($3 \cdot 10^{11} \div 10^{12}$ *ом/см* при 20° С) сильно зависит от температуры. При нагреве мишени ее сопротивление уменьшается, а при охлаждении — увеличивается. Для нормальной работы трубки температура мишени должна быть в пределах 35—60° С.

Перед мишенью расположена мелкоструктурная металлическая сетка, называемая сеткой мишени. Ее назначе-

ние — регулировать режим работы мишени. Для ортиконов, рассчитанных на освещенности изображений на фотокатоде от 0,1 *лк,* расстояние между сеткой и мишенью составляет 0,008—0,01 *мм*, а для трубок, рассчитанных на меньшие освещенности, это расстояние доходит до 1—1,5 *мм*. Сетка мишени имеет до 40 отверстий на 1 *мм*. Ее прозрачность составляет 50—75%.

Оптическое изображение проектируется на фотокатод. Электронное изображение после фотокатода переносится на мишень и фокусируется однородным магнитным полем

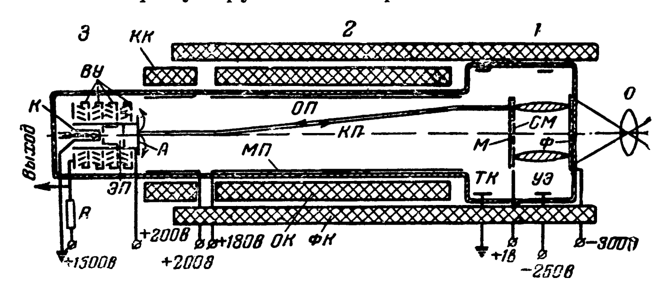


Рис. 7. Схема супертортикона.

К — катод; *ВУ* — вторично-электронный умножитель; *ЭП* — электронный прожектор; *А* — анод; *КП* — коммутирующий пучок; *ОП* — обратный пучок; *МП* — металлическое покрытие; *М* — мишень; *ТК* — тормозящее кольцо; *СМ* — сетка мишени; *Ф* — фотокатод; *О* — объектив; *УЭ* — ускоряющий электрод; *КК* — корректирующая катушка; *ОК* — отклоняющая катушка; *ФК* — фокусирующая катушка; *1* — секция переноса изображения; *2* — секция развертки изображения; *3* — секция усиления видеосигналов.

длинной цилиндрической катушки и электрическим полем в промежутке фотокатод — мишень. Трубка помещена в центре катушки.

При переносе электронного изображения на мишени создается потенциальный рельеф, который передается на другую ее сторону, где и развертывается пучком медленных электронов, имеющих почти нулевые скорости. Электронный пучок создается электронным прожектором, расположенным на другом конце трубки (в секции усиления). При движении пучка электронов вдоль мишени потенциальный рельеф компенсируется. А так как электронный пучок несет постоянное количество электронов, то их остаток возвращается обратно и попадает в секцию усиления.

В разных точках мишени заряды распределяются различно, поэтому число электронов отбираемых мишенью от пучка в процессе развертки, меняется. В соответствии с этим изменяется и ток обратного пучка. Таким образом, пучок электронов становится модулированным сигналом изображения.

Далее он попадает в электронный умножитель, расположенный в секции усиления, где и усиливается в 500—1 000 раз.

Пятикаскадный электронный умножитель усиливает видеосигналы почти без добавления собственных помех, и сигнал после трубки значительно превышает собственные шумы последующего лампового усилителя. Сопротивление нагрузки после электронного умножителя (входное сопротивление усилителя) обычно не .превышает 20—30 *ком*. Напряжение сигнала на сопротивлении при передаче достаточно крупных деталей изображения в среднем составляет 0,1 *в*; для слабых освещенностей это напряжение может уменьшаться до 0,01 *в*, а при передаче мелких деталей с повышением частоты видеосигнала величина его падает еще больше. Так, при передаче элемента изображения, соответствующего четкости 625 строк, сигнал уменьшится еще в 10—15 раз. Поэтому для получения четкого изображения на экране кинескопа приходится ставить дополнительный каскад, называемый корректором верхних частот. Последний дает повышение усиления напряжения видеосигнала на высоких частотах, что вызывает увеличение четкости при передаче мелких деталей изображения.

На рис. 8 представлена схема усилителя видеосигналов, обычно монтируемого вблизи передающей трубки, т. е. в передающей камере. Все усилительные каскады собраны по схеме со сложной коррекцией в области низких и высоких частот. Третий каскад, являющийся корректором верхних частот, дает ослабление усиления в области низких и средних частот до 100 раз.

Общий коэффициент усиления напряжения на верхних частотах видеосигналов от суперортикона до модулятора кинескопа обычно бывает не меньше 10 000—30 000. Для четкости разложения 625 строк при 25 кадрах в секунду усилитель должен пропускать без искажений полосу частот 50 *гц* — 6,5 *Мгц*.

На рис. 9 показана примерная схема питания отдельных элементов суперортикона. Все напряжения на схеме даны по отношению к нулевому напряжению на катоде электронного прожектора.

Выпускаемый нашей промышленностью суперортикон типа ЛИ17 при нормальной освещенности изображения на фотокатоде 0,5 *лк* обеспечивает четкость изображения в центре кадра 625 строк. При освещенности изображения 0,1—0,05 *лк* четкость падает до 550—500 строк.

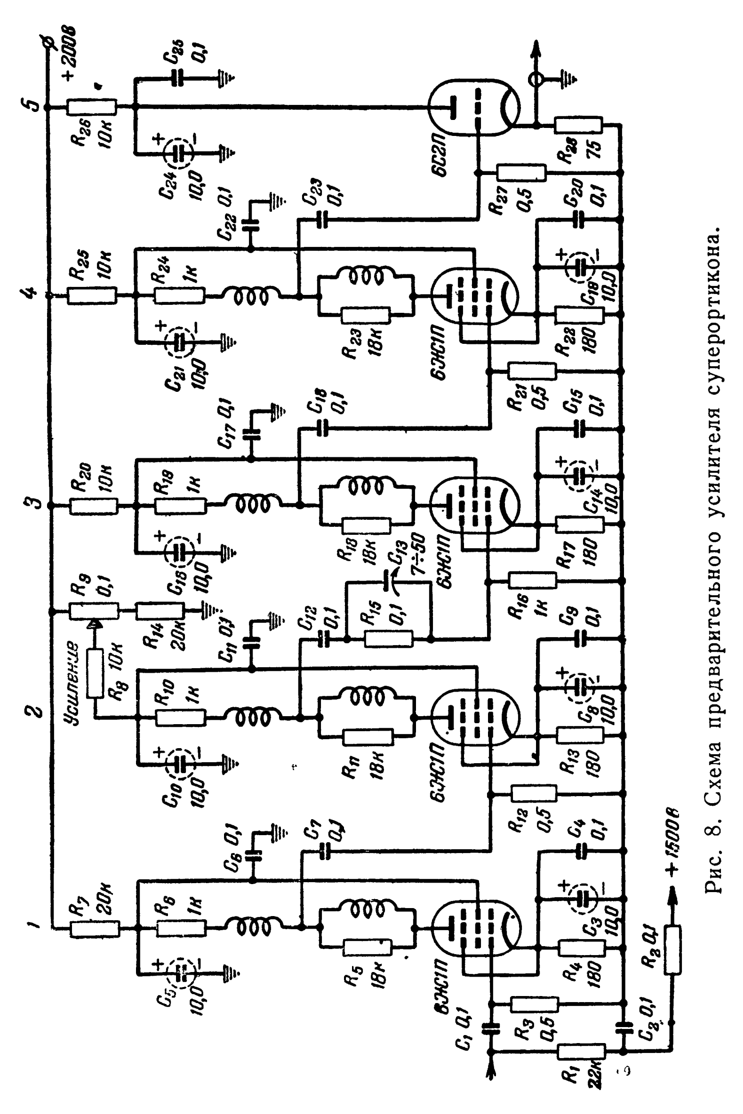


Рис. 8. Схема предварительного усилителя суперортикона.

Суперортикон обладает достаточно высоким уровнем собственных шумов. Поэтому для получения хорошего качества изображения приходится увеличивать освещенность передаваемого объекта или вводить дополнительную мелкоструктурную металлическую сетку со стороны развертывающего пучка электронов (сетка распола-

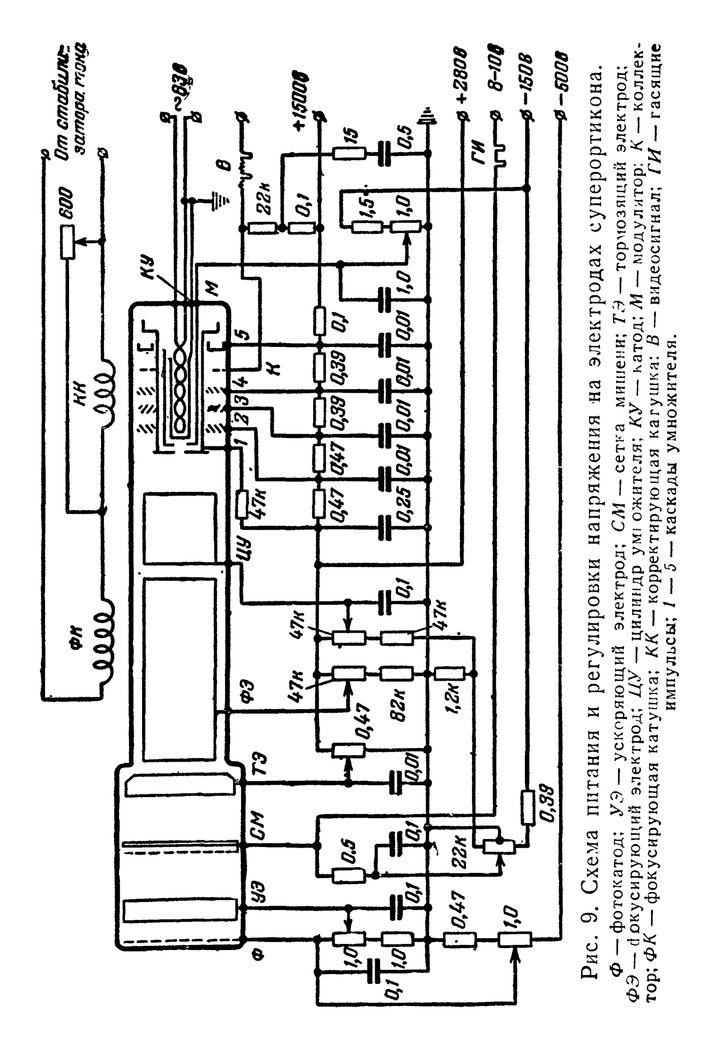


Рис. 9. Схема питания и регулировки напряжения на электродах суперортикона.

Ф — фотокатод; *УЭ* — ускоряющий электрод; *СМ* — сетка мишени; *ТЭ* — тормозящий электрод; *ФЭ* — фокусирующий электрод; *ЦУ* — цилиндр умножителя; *КУ* — катод; *М* — модулятор; *К* — коллектор; *ФК* — фокусирующая катушка; *КК* — корректирующая катушка; *В* — видеосигнал; *ГИ* — гасящие импульсы; *1* — *5* — каскады умножителя.

гается вблизи мишени). Наличие второй сетки уменьшает собственные шумы трубки и расширяет линейную часть световой характеристики (т. е. зависимость сигнала от величины освещенности фотокатода).

Из-за большой сложности суперортикона и взаимной зависимости разных секций, связанных между собой общим магнитным полем, подбор наилучшего его режима работы требует достаточно длительного времени. Работа трубки сильно зависит от температуры мишени. При тем-

пературе ниже 30° С сопротивление мишени становится сравнительно большим, что вызывает на ней излишнее накапливание отрицательных зарядов. В этом случае при смещении светлых точек на движущемся изображении появляются «хвосты», как бы оставляемые движущимся светлым изображением. При температуре же выше 60° С проводимость мишени возрастает, что ведет к понижению чувствительности трубки и потере четкости в передаваемом изображении. Таким образом, интервал рабочих температур мишени находится в пределах 35—55—60° С.

Для предварительного прогрева трубки имеется электрический подогреватель. Он расположен в секции переноса изображения (внутри фокусирующей катушки). Температура регулируется изменением величины тока через подогреватель.

Помимо суперортиконов, рассчитанных на средние освещенности фотокатода (0,5—0,1 *лк*), имеются также трубки для слабых освещенностей. Так, в США выпускается суперортикон (тип 6849) с пороговой чувствительностью 0,0001 *лк*.

Добавление нескольких каскадов электронно-оптического усиления света к суперортикону привело к созданию сверхчувствительной трубки. Такая трубка дает удовлетворительное изображение при освещенности на фотокатоде 10^{-5}—10^{-6} *лк*. Ее пороговая чувствительность ограничивается лишь шумами от термоэлектронной эмиссии фотокатода.

В астрономии суперортикон стал использоваться недавно (1954 г.). Его применяют как светоприемник в телевизионной аппаратуре при усилении яркости изображения. В последнее время (1957 г.) суперортикон стал применяться и в аппаратуре для компенсации атмосферных помех при астрономических наблюдениях.

АТМОСФЕРНЫЕ ПОМЕХИ ПРИ АСТРОНОМИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЯХ

Звезды находятся от нас на расстояниях, настолько больших, что свет от них проходит века, а в некоторых случаях и многие тысячелетия. Поэтому мы вправе считать, что световые лучи, идущие от них, являются параллельными, а волновой фронт их представляется плоским. Наша земная атмосфера по своим оптическим свойствам не является однородной, поскольку на всем ее протяжении она никогда не находится в покое. Объемы ее различной

плотности, влажности и температуры постоянно перемешиваются, переносятся ветром, изменяют свои контуры. Таким образом, плоский фронт приходящей световой волны становится волнующимся в соответствии с меняющимися оптическими свойствами участков атмосферы, через которую он проходит. Световые лучи, идущие от звезды, уже не остаются параллельными, а становятся или сходящимися, или расходящимися.

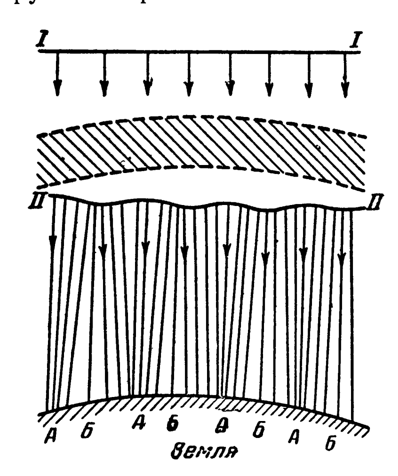


Рис. 10. Смещение пути прямолинейных лучей света от звезды из-за влияния земной атмосферы.

Все сказанное поясняется на рис. 10. Здесь заштрихованный слой — это область, где происходит изменение оптических свойств атмосферы. Плоская световая волна *I-I*, проходя через этот слой, деформируется и превращается в волну *II-II*, перпендикуляры к которой и являются теперь лучами света, идущими от звезды. В точках *А* на земной поверхности световая энергия уплотняется, так как на эту поверхность будет попадать больше световых лучей, чем в точках *Б*. А так как неоднородности в атмосфере все время находятся в движении, то в глаз наблюдателя будут попадать лучи точки *А*, а затем точки *Б* и звезда при этом будет казаться ему мерцающей.

Помимо мерцания звездного изображения, т. е. изменения его яркости, наблюдаются также быстрые геометрические смещения, называемые дрожанием изображения.

Все эти атмосферные помехи сильно портят качество изображения небесных объектов. При наблюдении планет две точки ее диска, разделенные угловым расстоянием в несколько секунд, испытывают каждая совершенно самостоятельные колебания. Изображение планеты все время подвергается неправильным и случайным деформациям в различных направлениях. Некоторые части ее расширяются, другие — сжимаются. Диск планеты при этом кажется волнистым или зазубренным, изображение ее как бы «кипит». Атмосферные помехи увеличиваются, если

планета находится вблизи горизонта, и уменьшаются, если она в зените, т. е. над головой наблюдателя.

С увеличением масштаба изображения после телескопа, т. е. при использовании длиннофокусной оптики (фокусное расстояние 20—30 *м*) или большом увеличении, атмосферные помехи сказываются еще сильнее. Освещенность изображения после телескопа с увеличением масштаба уменьшается пропорционально квадрату увеличения диаметра изображения. Поэтому получить хороший фотоснимок планеты в большом масштабе становится очень трудным.

Таким образом, перед наблюдателем возникают два противоречивых условия: 1) уменьшение освещенности изображения требует увеличения выдержки при фотографировании; 2) увеличение же выдержки вызывает размазывание деталей изображения.

При использовании светоприемников, более чувствительных, чем фотопластинка, таких, как электронно-оптический преобразователь или телевизионная трубка, время выдержки можно значительно сократить. При этом как бы уменьшается влияние атмосферы на качество астрономического снимка, так как на отдельных моментальных фотоснимках всегда можно получить лучшее изображение, чем на фотоснимке с длительной выдержкой.

ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННО-ОПТИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ И ТЕЛЕВИЗИОННОГО МЕТОДА В АСТРОНОМИИ

Использование новой электронной техники в астрономии началось сравнительно недавно. Первое применение электронно-оптических преобразователей для фотографирования небесных объектов следует отнести к 1949 г. Преобразователи использовались для фотографирования небесных объектов в инфракрасной области спектра.

Чувствительность фотопластинки в инфракрасных лучах значительно меньше, чем в видимых, и сильно уменьшается при слабых освещенностях. Для объектов с очень малой светимостью (слабые туманности и пр.) выдержки в десятки часов могут оказаться бесполезными. В этом случае на фотопластинке не будет зафиксировано никакого изображения.

Чувствительность же электронно-оптических преобразователей значительно выше чувствительности фотопластинки. Она остается постоянной и для слабых освещен-

ностей. Поэтому использование преобразователей для фотографирования объектов со слабой светимостью дает большой эффект. В этом случае можно сфотографировать небесные объекты, изображение которых получить обычным способом на фотопластинке невозможно.

Применение электронно-оптических преобразователей дало возможность получить в инфракрасных лучах спектры слабого свечения ночного неба, открыть новые спектральные линии в этой области, обнаружить новые звездные скопления и туманности.

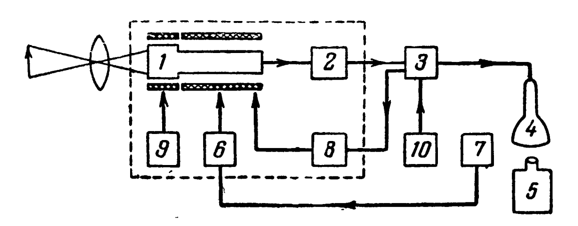


Рис. 11. Блок-схема телевизионной установки Кембриджской обсерватории.

1 — суперортикон; *2* — предварительный усилитель; *3* — выходной усилитель; *4* — кинескоп; *5* — фотоаппарат; *6* — электродвигатель; *7* — пульт управления оптической фокусировки; *8* — генераторы кадров и строк; *9* — каскад бланкировки мишени; *10* — синхрогенератор.

Опыты по применению в астрономии телевизионного метода усиления яркости изображения были начаты в Кембриджской обсерватории (Англия) в 1952 г. Результаты некоторых работ относятся к более позднему периоду и опубликованы были в ряде журналов в 1956 г.

Независимо от этих работ в Главной астрономической обсерватории АН СССР (также с 1952 г.) начались работы по применению телевизионного метода в астрономии. Первые публикации об этих работах сделаны были тоже в 1956 г.

Схема телевизионной установки в Кембридже показана на рис. 11. Изображение небесного объекта через окуляр телескопа проектируется на фотокатод суперортикона. Видеосигнал усиливается и попадает на кинескоп с диаметром экрана 35 *см*. Изображение с экрана фотографируется фотоаппаратом на кинопленку.

Для фокусировки оптического изображения на фотокатод суперортикон вместе с магнитной системой (катушка фокусировки и отклоняющие катушки) может приближаться или удаляться от окуляра телескопа. Перемещение

производится электродвигателем с пульта управления оптической фокусировки.

В аппаратуре применена чересстрочная развертка. Синхронизационные импульсы дает синхрогенератор. Число кадров в секунду — 25, число строк разложения — 625.

Передающая трубка с магнитной системой и предварительный усилитель видеосигналов смонтированы на специальном держателе. Этот блок укреплен на телескопе. Телевизионная установка совместно с отражательным телескопом (диаметром зеркала 250 *мм*) использовалась для фотографии лунной поверхности.

Телевизионная аппаратура была приспособлена и к горизонтальному солнечному телескопу (диаметр зеркала 250 *мм*). Используя фильтры, пропускающие ультрафиолетовые или инфракрасные лучи солнечного света на фотокатод передающей трубки, наблюдали поверхность Солнца в этих лучах. На специально построенном солнечном спектрографе с телевизионной аппаратурой делались спектральные наблюдения. Релкие явления, протекающие на поверхности Солнца, которые раньше нельзя было наблюдать непосредственно оптически, теперь стали рассматриваться на экране кинескопа и фотографироваться.

В 1954 г. в обсерватории Ловелла (США) производились опыты по наблюдению планет при помощи особо чувствительного суперортикона (рис. 12). В такой трубке между фотокатодом и мишенью смонтирован двухкаскадный электронно-оптический преобразователь света. Оптическое изображение, как обычно, проектируется на полупрозрачный фотокатод. Электроны после фотокатода фокусируются на каждом усилительном каскаде. Для этого используется магнитно-электростатическая фокусировка. Магнитное поле создается длинной цилиндрической катушкой, в центре которой помещена трубка, а электростатическое поле образуется межкаскадным ускоряющим напряжением 10 *кв*.

Каждый каскад состоит из тонкой стеклянной пленки, покрытой со стороны фотокатода флуоресцирующим материалом (фосфором) с голубым цветом свечения. На фосфор нанесена тонкая пленка алюминия. На другой стороне экрана расположен полупрозрачный фотокатод с максимумом спектральной чувствительности в голубых лучах. Каждый каскад дает усиление по току не менее 10. Таким образом, усиление после второго каскада получается равным 100.

Далее электронное изображение фокусируется на мишени, где и создает потенциальный рельеф. Наличие большого усиления в секции переноса сильно уменьшает внутренние шумы в трубке при передаче изображения с малой освещенностью. В этом случае основной помехой становится шум от флуктуаций термоэлектронной эмиссии первого фотокатода. В обычном же суперортиконе собственные шумы определяются малой модуляцией обратного электронного пучка, попадающего в электронный умножитель.

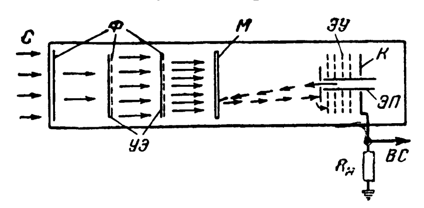


Рис. 12. Схема суперортикона с добавочным усилителем изображения.

С — свет; *Ф* — фотокатоды; *УЭ* — усилительные экраны; *М* — мишень; *ЭУ*—электронный умножитель; *К* — коллектор; *ЭП*—электронный прожектор; *ВС* — выходной сигнал.

Высокая чувствительность суперортикона с добавочным усилением в секции переноса позволяет передавать изображение освещенностью на фотокатоде 10^{-5}—10^{-6} *лк* при четкости 400 строк. Следует отметить, что четкость зависит не только от числа строк развертки изображения, но и от свойств самой передающей трубки и освещенности изображения на ее фотокатоде. Пороговая чувствительность трубки с добавочным усилением в секции переноса примерно такая же, как и у многокаскадного электронно-оптического преобразователя.

Телевизионная установка с высокочувствительным суперортиконом совместно с 600-*мм* телескопом использовалась для фотографирования Марса во время его противостояния в 1954 г., когда его угловой диаметр равнялся 20″ дуги.

Оптическое изображение Марса после телескопа, дополнительно увеличенное до диаметра 10,5 *мм*, проектировалось на фотокатод трубки. Телевизионная аппаратура была рассчитана на 1 029 строк чересстрочной развертки при 30 кадрах в секунду. Видеосигналы усиливались усилителем с малым уровнем шумов. Изображение рассматривалось и фотографировалось с экрана кинескопа диаметром 25 *см* фотоаппаратом «Лейка». Диаметр изображения Марса на фотоснимках равнялся 14 *мм*. Изображение получалось достаточно четким.

На рис. 13 показана блок-схема телевизионной установки Пулковской обсерватории (СССР). Электрическая схема аппаратуры этой установки несколько упрощена по

сравнению со схемой, применяемой в телевизионных центрах. Чересстрочная развертка заменена построчной. В этом случае изображение развертывается за время одного кадра продолжительностью $^1/_{50}$ *сек*. Это дает возможность достаточно просто обеспечить при фотографировании экрана кинескопа выдержку $^1/_{50}$ *сек* и, кроме того. при этом не нужен синхрогенератор, который достаточно сложен сам по себе. Аппаратура работает при четкости разложения на 625 строк, что представляет некоторые удобства, так как дает возможность применять и обычный телевизор с небольшими его переделками.

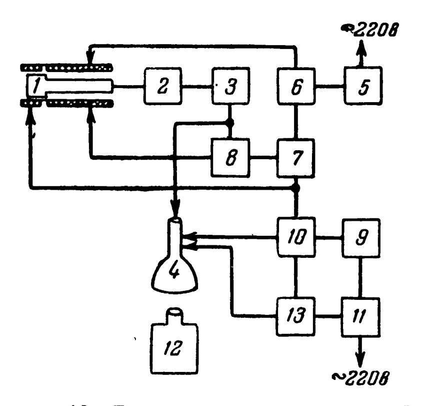


Рис. 13. Блок-схема телевизионной установки Пулковской обсерватории.

1 — суперортикон; *2* —предварительный усилитель; *3* — оконечный усилитель; *4* — кинескоп; *5* — стабилизатор; *6* — выпрямители; *7* — блок разверток; *8* — блок формирования; *9* — блок питания телевизора; *10* — блок разверток и синхронизации телевизора; *11* — стабилизатор напряжения; *12* — фотокамера; *13* — электронный затвор.

Генераторы разверток рассчитаны на возможность плавного изменения частоты строк от 15 до 22 *кгц*. Это относится как к передающей камере, так и к телевизору. Изменение строчной частоты способствует подбору оптимального режима для работы суперортикона, что вызывается неодинаковой разрешающей способностью у различных экземпляров передающих трубок.

Частотная характеристика видеоканала, начиная от выхода передающей трубки до кинескопа, достаточно равномерна вплоть до частоты 9,5 *Мгц*, где имеется некоторый подъем, а затем спад. При частоте развертки строк 20 *кгц* и полосе частот 9,5 *Мгц* можно обеспечить горизонтальную четкость до 950 строк. Реальная же четкость ограничивается разрешающей способностью суперортикона и для достаточно ярких объектов (Луна) не превышает 600—625 строк.

Изображение от телескопа проецируется на фотокатод суперортикона. Электрические сигналы с передающей трубки поступают на предварительный, а затем выходной усилитель и после него подаются на кинескоп телевизора «Зенит». Кинескоп типа 31ЛК2Б с размером экрана 180×

×240 *мм* дает достаточно равномерную четкость изображения по всей площади и вполне пригоден для фотографирования малоформатной камерой.

Как и обычно, вся аппаратура питается от сети переменного тока. Постоянство напряжения поддерживается стабилизаторами. Выпрямители дают постоянный ток как для передающей трубки, так и для всех блоков аппаратуры.

Телевизор имеет свой блок питания, блок разверток и синхронизации и стабилизатор напряжения сети. Схема телевизора частично переделана. В нем увеличена полоса пропускания видеоканала до 9,5 *Мгц*, введен контур восстановления постоянной составляющей, а также улучшена линейность развертки по строкам. Переделана и схема синхронизации: импульсы могут подаваться либо прямо на блокинг-генераторы по отдельным каналам, либо выделяться из общего телевизионного сигнала.

Изображение с экрана кинескопа фотографируется зеркальной малоформатной камерой. При фотосъемке используется электронный синхронный затвор, обеспечивающий точную выдержку $^{1}/_{50}$ *сек*. Он представляет собой генератор ждущей развертки, срабатывающий при подаче запускающего импульса при нажиме специальной кнопки. Синхронный затвор отпирает электронный луч кинескопа на время прохождения одного кадра. В остальное время электронный луч заперт.

Следует отметить, что получить хороший снимок с выдержкой $^{1}/_{50}$ *сек* без синхронного затвора трудно. Практически невозможно точно открыть затвор фотоаппарата при начале развертки кадра и закрыть его в конце кадра. Небольшая ошибка по времени вызывает появление на фотоснимке белых или темных полос (белая полоса возникает при выдержке меньше, темная — больше $^{1}/_{50}$ *сек*).

Рассмотрим теперь оптическую часть телевизионной установки. В обычных телевизионных камерах оптическое изображение проектируется в разных масштабах на фотокатод передающей трубки при помощи сменных объективов. Чем больше фокусное расстояние объектива, тем больше масштаб оптического изображения на фотокатоде, тем крупнее изображение на экране кинескопа. Фокусное расстояние объектива в камере редко достигает 1 *м* (обычно оно меньше). Для фотографирования небесного объекта в крупном масштабе такой объектив непригоден Для объектива с фокусным расстоянием 1 *м* диаметр

изображения Луны не превышает 9 *мм*. Более отдаленные планеты представлялись бы кружками с еще меньшими диаметрами. Поэтому при астрономических наблюдениях планет применяют объективы с фокусным расстоянием 18—20, а иногда и 70 *м*.

Выбор фокусного расстояния или увеличение масштаба изображения определяется качеством астрономического изображения. Большой масштаб изображения применяется при малых атмосферных помехах, т. е. при хороших изображениях. При плохом качестве изображения большие увеличения применять бесполезно.

Опыты фотографирования поверхности Луны в большом масштабе с применением телевизионной техники производились в Пулкове в 1956 г. Аппаратура устанавливалась в помещении большого горизонтального солнечного павильона, разрез которого показан на рис. 14. Здесь нет специальной трубы, и ее роль выполняет само помещение длиной около 50 *м*.

На фундаментах установлены стеклянные алюминированные зеркала, которые перемещаются вдоль специальных рельсов. Это необходимо для фокусировки оптического изображения после телескопа на соответствующие светоприемники, выбор которых определяется поставленными научными задачами.

Свет от небесного объекта, в данном случае от Луны, попадает первоначально на плоское зеркало *1* диаметром 500 *мм*. Зеркало снабжено часовым механизмом, чтобы следить за перемещением небесного объекта. Свет от него попадает на дополнительное неподвижное, тоже плоское, зеркало диаметром 650 *мм*. Отраженный от дополнительного зеркала свет направляется на вогнутое зеркало *2* телескопа, которое и является его объективом (диаметр 500 *мм*, фокусное расстояние 16 *м*). Изображение Луны в фокусе *3* этого зеркала имеет размер 14,5 *см* (в диаметре). Для увеличения изображения последнее проектируется на дополнительное выпуклое зеркало *5*. Совместно оба зеркала дают фокусное расстояние 56 *м*. Изображение Луны в этом втором фокусе *6* имеет диаметр около 520 *мм*.

Телевизионная камера устанавливается либо в первом, либо во втором фокусе. Размер оптического изображения на фотокатоде суперортикона получается 28×28 *мм*, а изображение на экране кинескопа 180×240 *мм*. Следовательно, изображение на экране увеличено (линейно) по сравнению с оптическим почти в 6,5 раза. На экране вид-

на только часть лунной поверхности, соответствующая диаметру 940 *мм* для первого фокуса и 3,2 *м* — для второго.

Качество изображения Луны при рассматривании его на экране телевизора не всегда удовлетворительно. В не-

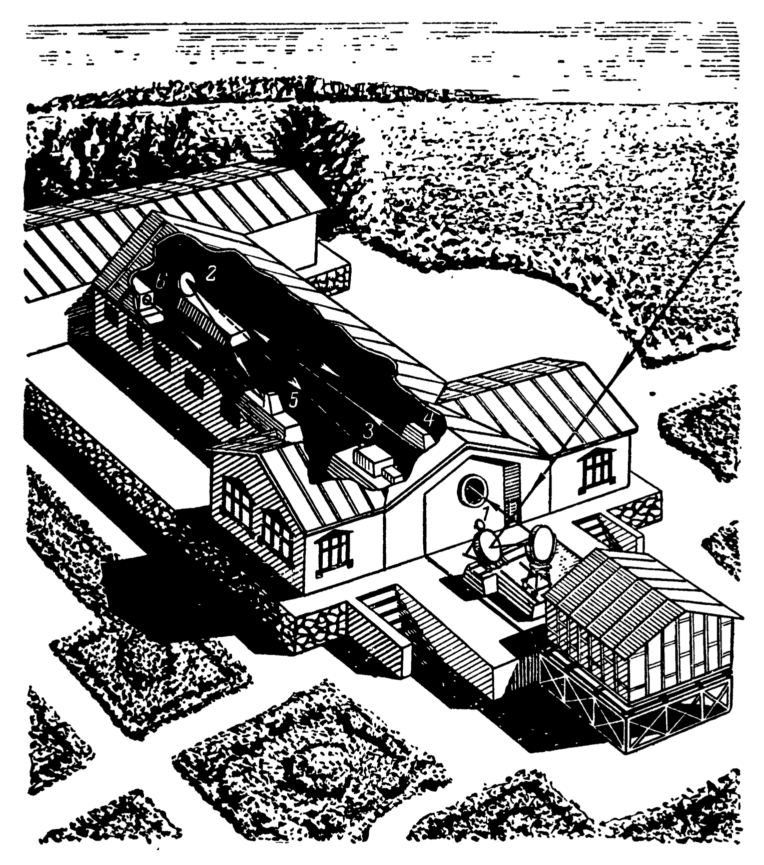


Рис. 14. Разрез солнечного павильона.

которых случаях оптическая и электронная фокусировка мало увеличивает четкость отдельных деталей изображения. Из-за большого масштаба и атмосферных помех изображение все время колеблется и волнуется.

Следует заметить, что при оптическом фокусе 16 *м* и увеличении масштаба в электронной аппаратуре в 6,5 раза эквивалентный фокус всей системы (телескоп — телевизион-

ная аппаратура) составляет 104 *м* (диаметр изображения — 940 *мм*). Для второго фокуса это число возрастает до 364 *м* (изображение 3,6 *м*). Моментальное фотографирование (1/50 *сек*) в этих условиях сильно помогает. Однако не все моментальные фотоснимки оказываются одинаковыми по качеству; в некоторых из них четкость изображения больше, в других она меньше. Поэтому необходимо делать десятки снимков и из них выбирать наилучшие.

Яркость изображения Луны зависит от ее фазы. В первой четверти для диаметра 14,5 *см* (фокус 16 *м* освещенность изображения примерно равна 0,05 *лк*. Во втором фокусе телескопа она уменьшается до 0,004 *лк*. Прямое фотографирование Луны при освещенности изображения 0,05 *лк* на кинопленку чувствительностью 65—70 ед. ГОСТ дает негативы с едва заметной плотностью почернения, если выдержка не превышает 1/50 *сек*. Освещенность изображения на экране телевизора получается 30—40 *лк*. Выигрыш в яркости изображения в этом случае доходит до 600—800. Это дает возможность получить негативы с нормальной плотностью почернения при выдержке 1/50 *сек* с объективом 1 : 3,5.

В качестве примера на рис. 15 показан фотоснимок части лунной поверхности (области вблизи «моря Нектара»), полученный с экрана телевизора. Передающая камера была установлена в первом фокусе телескопа.

В 1958 г. в Пулковской обсерватории заканчивается монтаж опытного телевизионного телескопа. Он построен по оптической схеме Кассегрена, но с большим увеличением изображения. Эта схема обеспечивает малые потери света в оптике, так как используются только два отражательных зеркала (главное — вогнутое и второе — выпуклое), большой масштаб изображения и малые габариты всего телескопа.

Диаметр главного зеркала равен 285 *мм*. Второе зеркало — сменное. Устанавливая зеркала с различной выпуклостью, можно менять фокусное расстояние телескопа с 20 до 54 и 120 *м*. Размер трубы телескопа при этом не превышает 2 *м*.

На телескопе укреплена передающая телевизионная камера облегченного веса. В камере используется супериртикон типа ЛИ17. Эта трубка может работать как в обычном телевизионном режиме развертки (для моментальных фотоснимков изображений с экрана телевизира), так и

в режиме длительного накопления потенциального рельефа на мишени (в течение нескольких десятков секунд). В последнем случае чувствительность трубки сильно возрастает (примерно пропорционально времени накопления). После накопления на мишени потенциального рельефа он развертывается электронным лучом. Изображение на экране телевизора в этом случае видно в течение нескольких десятков кадров.

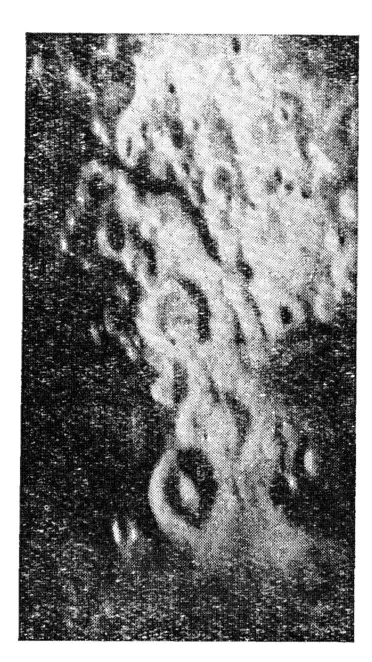


Рис. 15. Фотография с экрана кинескопа части лунной поверхности.

Первые опытные наблюдения показали, что в режиме накопления в течение 6 *сек* (для фокуса 20 *м*) можно фотографировать изображения звезд до 10-й величины. Освещенность на фотокатоде трубки в этих условиях составляет не более 0,001 *лк*, и выигрыш в яркости достигает 30 000—40 000.

Используя оптический фокус 120 *м* и электронное увеличение в аппаратуре около 9, можно получить эквивалентный фокус всей установки, равный 1 080 *м*. При таком большом фокусе хорошо наблюдаются деформации изображения звезд, вызванные атмосферными помехами.

В 1957 г. в обсерватории Деуера (США) был построен компенсатор атмосферных помех, использующий телевизионную технику. Установка рассчитана для наблюдения Юпитера, Венеры и Марса.

На рис. 16 показана блок-схема этой установки. Она состоит из телескопа Кассегрена с зеркалом диаметром 600 *мм*. Для увеличения масштаба изображения после телескопа используется отрицательная линза. Оптическое изображение Юпитера достигает 12 *мм* (в диаметре). После линзы свет падает на цветоизбирательный фильтр (зеркало). Часть света (60%) отражается от него и образует изображение на фотокатоде суперортикона. Остальная часть света проходит через фильтр и образует изобра-

жение планеты на двух взаимно-перпендикулярных щелях компенсатора. За щелями расположены два фотоумножителя. Их выходы соединены с усилителями постоянного тока. Выходные сигналы усилителей питают две пары катушек, расположенные вокруг секции переноса трубки. Оси катушек взаимно-перпендикулярны.

Смещение оптического изображения на щелях меняет световой поток на фотокатодах умножителей и увеличи-

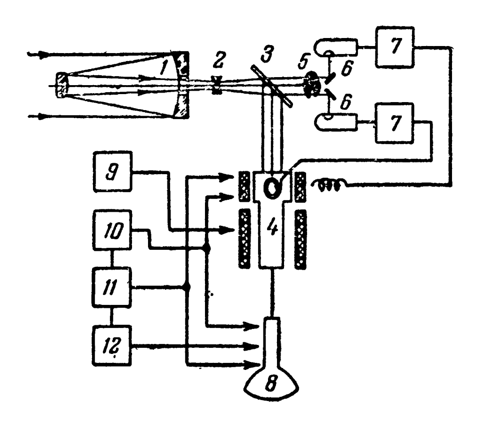


Рис. 16. Блок-схема телевизионной установки с компенсатором атмосферных помех.

1 — телескоп; *2* — отрицательная линза; *3* — зеркало; *4* — суперортикон; *5* — компенсатор; *6* — фотоумножители; *7* — усилители постоянного тока, *8* — кинескоп; *9* — блок питания трубки; *10* — синхрогенератор; *11* — генераторы разверток; *12* — генератор синхронизирующих и бланкирующих импульсов.

вает или уменьшает магнитное поле в катушках. Изменение этого поля смещает электронное изображение на мишени трубки. Подбором фазы и величины тока в катушках можно сместить электронное изображение в направлении, противоположном смещению оптического изображения на щелях и фотокатоде трубки. При соответствующей регулировке усиления (в усилителях фототока) электронное изображение на мишени и, следовательно, на экране кинескопа становится неподвижным.

Для увеличения чувствительности ортикона можно увеличивать время накопления зарядов на мишени трубки в пределах $^1/_{15}$—$^4/_{15}$ *сек*. Время однократной развертки кадра, в течение которого можно фотографировать экран кинескопа, составляет $^1/_{30}$ *сек*.

Четкость передачи изображения в этой системе выше обычной, применяемой в телевидении. Она обеспечивает использование наиболее полно разрешающей силы телескопа. Четкость отдельных мелких деталей на изображении планеты получается большей, чем при непосредственном наблюдении через окуляр.

Кроме перечисленных блоков, в комплект аппаратуры входят блок питания трубки, синхрогенератор, генераторы разверток и генератор синхронизирующих и бланкирующих импульсов.

НЕКОТОРЫЕ ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕГО РАЗВИТИЯ ТЕЛЕВИЗИОННОЙ ТЕХНИКИ В АСТРОНОМИИ

Современные телевизионные трубки не обладают способностью длительно накапливать потенциальный рельеф на мишени, что объясняется некоторой проводимостью материала последней. Чтобы длительно сохранять заряды на мишени, ее надо изготовлять из изолятора. Для обычной телевизионной передачи трубка с такой мишенью была бы мало пригодна (из-за очень большой инерции), но для регистрации изображений с очень малой освещенностью при длительном накапливании потенциального рельефа (несколько часов) она была бы весьма полезной.

В Англии ведутся работы по созданию передающей трубки для длительного накопления зарядов изображения. Трубка рассчитывается для использования ее при фотографировании чрезвычайно слабых звезд — порядка 24-й величины и ниже. Эти звезды настолько удалены от нас и так слабо светятся, что даже с 5-м телескопом их изображение невозможно обнаружить на фотопластинке. Увеличение времени выдержки при фотографировании мало помогает. Причиной этого является рассеянный свет от ночного неба (фон неба). Так как яркость звезд 24-й величины мало отличается от яркости фона неба (малый контраст изображения), при длительном фотографировании пластинка темнеет (появляется вуаль) и изображение звезды отсутствует.

Конструкция новой трубки почти такая же, как у суперортикона, но ее мишень изготовлена из непроводящего электрический ток стекла и может поворачиваться на 180°. Сторона мишени, обращенная к фотокатоду, обработана цезием и тоже является изолятором. Противоположная же ее сторона имеет проводящий слой.

При длительном (несколько часов) проецировании

слабого оптического изображения на фотокатод этой трубки, так же как и в обычном суперортиконе, на мишени-изоляторе образуется потенциальный рельеф. При этом накапливаются заряды от изображения звезды и фона неба.

Для компенсации фона фотокатод трубки освещают рассеянным светом, подавая положительный потенциал на проводящий слой мишени. Электроны после фотокатода попадают с малыми скоростями на мишень, компенси-

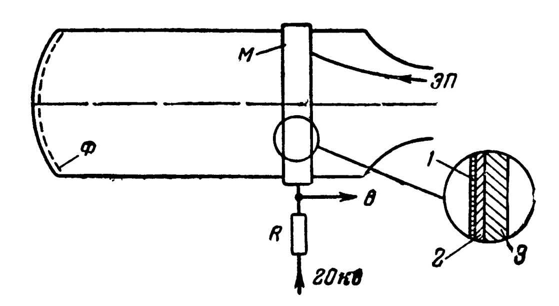


Рис. 17. Схема устройства трубки „Эйбикон".
Ф — фотокатод; М — мишень (1 — сетка; 2 — алюминиевая фольга; 3 — полупроводник); ЭП — электронный пучок; В — выход.

руют положительный заряд на ней и равномерно разряжают ее поверхность. Этим способом устраняется действие фона от свечения ночного неба. Заряд на мишени от изображения звезды становится также слабее, однако он все же будет заметен.

Далее на трубку снова проецируют изображение звезды и снова снимают фон. После такого длительного процесса накопления потенциальный рельеф от изображения звезды становится достаточно большим.

Затем мишень поворачивается на 180° и потенциальный рельеф на мишени снимается развертывающим электронным пучком медленных электронов, как в обычном суперортиконе. Изображение на экране кинескопа может рассматриваться только в продолжение нескольких кадров, после чего потенциальный рельеф исчезает (полностью снимается).

В печати появились краткие сообщения о передающей трубке «Эйбикон» и «Умножителе изображения».

Чувствительность «Эйбикона в 100 раз больше чувствительности современных передающих трубок. Эта трубка отличается от обычного суперортикона конструкцией ми-

шени и отсутствием в ней электронного умножителя (рис. 17). Мишень состоит из сетчатого с большим числом ячеек экрана, покрытого слоем алюминия толщиной 0,1 *мк*, и слоя полупроводника толщиной в несколько микрон. Излучаемые фотокатодом электроны ускоряются напряжением 20 *кв* и переносятся на мишень. При ударе о мишень электроны вызывают в полупроводнике вторичные электроны (т. е. возбужденную проводимость). На мишени образуется потенциальный рельеф. При развертке его электронным пучком появляется сигнал, который снимается с нагрузочного сопротивления *R*. Более подробных сведений о новой трубке пока нет.

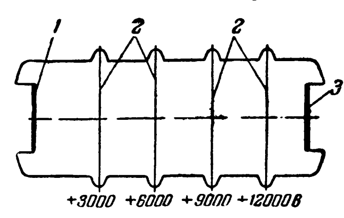


Рис. 18. Схема устройства умножителя изображения

1 — фотокатод; *2* — тонкие пленки; *3* — слой люминофора

Умножитель изображения разработан специально для слабых освещенностей. Этот прибор позволяет обнаруживать изображения с яркостью 0,0005 *лк*. Предполагается, что при совместной работе «Эйбикона» и поставленного перед ним умножителя можно будет обнаруживать изображения с освещенностью около 0,00001 *лк*.

Умножитель (рис. 18) состоит из ряда сетчатых экранов, покрытых калием (тонкие пленки). Между экранами приложено ускоряющее напряжение около 3 *кв*. За счет вторичной электронной эмиссии экранов достигается усиление около 10 на каждый каскад, а так как в умножителе имеются четыре таких каскада, он дает общее усиление в 10 000 раз. Для фокусировки изображения (электронного) внутри самого усилителя используется магнитное поле.

Умножитель изображения, снабженный флуоресцирующим экраном, дает возможность рассматривать непосредственно изображение, проецирумое на него фотокатодом. Прибор в этом случае становится электронно-оптическим преобразователем, отличающимся от обычных типов преобразователей лишь конструкцией каскадов усиления.

Эти приборы могли бы с большим успехом применяться в астрономии, но пока они еще находятся в стадии разработки. Возможно, конечно, появление и других электронных приборов, объединяющих высокую чувствительность с хорошей четкостью передаваемого изображения.

Цена 90 коп.

Цена 90 коп.